

電流と磁界が及ぼし合う力の定量実験

渡 辺 寛

電流と磁界が及ぼし合う力（電磁力）の実験として、対にした磁石を卓上精密はかりに載せ、磁石の間に導線を固定して電流を流す方法を検討した。この方法は、電磁力を考える際の場面設定が単純で、しかも、測定操作も大変簡単であり、電磁力が磁束密度、電流、磁界を横切る電流の長さに比例することを精度よく検証できることがわかった。

I はじめに

電流と磁界が及ぼし合う力（電磁力）を測定する方法は、コイル内の磁界中に電流てんびんを入れる電磁力測定器を使うのが一般的である。しかし、この方法では次のような問題点が挙げられる。①教科書の電磁力の説明では、コイルではなく磁石の磁界中を電流が通る場面を使うこと。②現在高等学校では扱わない力のモーメントを必要とすること。③電磁力が小さくて迫力不足なこと。④電磁力が磁界中を横切る電流の長さに比例することが検証できないこと。

一方、磁石の磁界中に導線を通す方法^{1),2)}も報告されているが、測定上に改善の余地がある。そこで、これらの問題点を解消するために、磁石を向かい合わせて卓上精密はかりに載せ、磁石の間を通して固定した導線に電流を流し、その時の重さの変化を電磁力として測定する方法を検討した。

II 実験の準備と方法

<準備>

- (1) アルニコ角磁石（ $1 \times 1 \times 4$ cm）とフェライト円形磁石（両面着磁型 直径 3 cm，厚さ 0.5 cm）を 8 個ずつ用意する。また、磁石を固定するために、長さ 15 cm，隔壁の厚さ 1 cm，隔壁の高さ 2 cm（アルニコ角磁石用）と隔壁の高さ 1 cm（フェライト円形磁石用）の台（図 1）をアクリル板でつくる。
- (2) 厚さ 0.5 cm，大きさ 10×15 cm のアクリル板の周囲にエナメル線を巻きつけて、セロテープで固定する。1 回巻きと 10 回巻きのコイルを用意する。
- (3) 卓上精密はかり（秤量 310 g，感量 0.01 g），スタンド，直流電源装置，直流電流計，磁束計を用意する。

<方法>

- (1) 図 1 のように、互いに引き合うように対にして台に立てた磁石をセロテープで固定する。
- (2) 磁石を固定した台を卓上精密はかりの秤量皿に載せて、その重さ W_0 を測る。このとき、磁石が鉛直になっているように、秤量皿に載せた台の位置をずらしたり、おもり

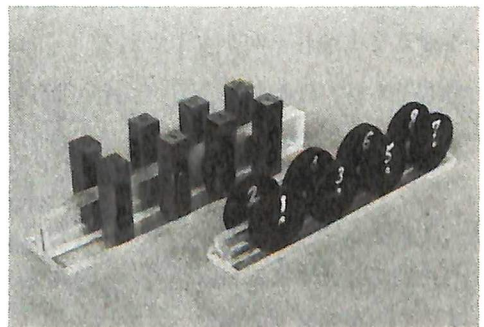


図 1 磁石の固定

を追加して調整をする。

- (3) 図2のように、エナメル線が対の磁石間の垂直二等分線上を水平に通る、エナメル線の中点と磁石(群)の中点が合うようにして、アクリル板をスタンドで固定する。また、エナメル線が磁束密度の大きな所を通るように、アルニコ角磁石では上端より2～3mm位下に、フェライト円形磁石では中心近くに高さを合わせる。

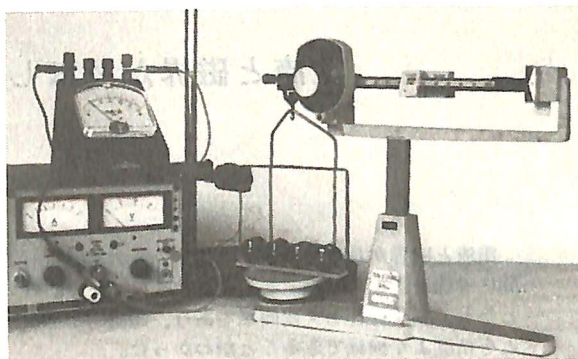


図2 実験装置

- (4) エナメル線に直流電源装置と直流電流計を接続する。
 (5) エナメル線に電流 I を流すと電磁力 F が生じ、磁石に電磁力が加わる。そこで、卓上精密はかりの棹が水平となるように調節して重さ W を測定すると、重さの変化量 $|W - W_0|$ が電磁力 F として求められる。
 (6) 電流 I 、磁石の数、配置、種類を変えて実験する。

表1 磁界、電流の向きと電磁力

向 き		電 磁 力 (gw)		
B	I	1 (A)	2 (A)	3 (A)
⊙	→	0.62	1.22	1.82
	←	0.62	1.23	1.83
⊗	→	0.61	1.21	1.82
	←	0.61	1.22	1.82

Ⅲ アルニコ角磁石を使った実験

電磁力が大きくなるように、磁力の強いアルニコ角磁石を使った実験を検討する。

<目的>

- (1) 磁界の向きと電流の向きの組み合わせでできる四つの場合について、測定が可能であるかを調べる。
 (2) 磁石を等間隔で台に固定するやり方(図1)で、磁石対の数を変えることにより、電磁力 F が磁界を横切る電流の長さ l に比例することが示せるかを調べる。

<結果と考察>

- (1) 1回巻きコイルと4対の磁石を使って、磁界と電流の向きを変えて実験した例が表1である。どの場合も同じ結果が得られており、任意の場合で実験が可能であることがわかった。ただし、電流と磁石が反発する場合の方が、測定時のつりあいの状態に安定性がある。
 (2) 1回巻きコイルを使い、磁石を1対～4対まで増して実験した例が図3である。どの場合も、電磁力 F が電流 I に比例することが精度よく検証できている。

また図4のようにして、各磁石対の磁束密度 B を磁束計で

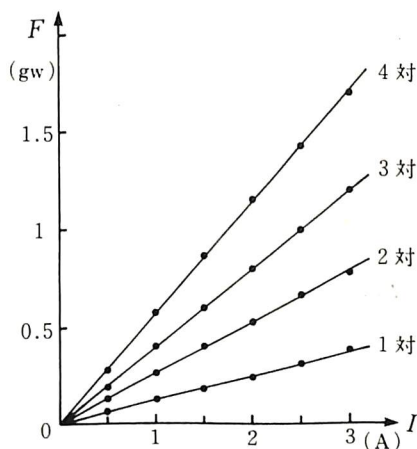


図3 電流と電磁力

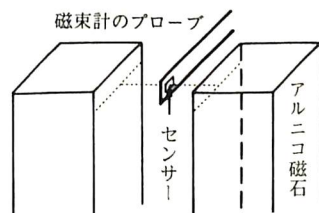


図4 磁束密度の測定

表2 個々の磁石対の磁束密度

磁石対	1	2	3	4
B (kG)	0.76	0.80	0.88	1.02

測定した結果が表2である。使用したアルニコ磁石の強さにか
 なるのばらつきがあったことがわかる。そこで磁石対を増し
 た場合について、この磁束密度を加算してその相対値を求め
 たものと、電磁力の相対値を比較したものが表3である。

表3から、電磁力の相対値が磁石対の数の比（磁界を横切
 る電流の長さの比）より少し大きくなっていることは、使用
 した磁石の強さ（磁束密度）の違いによるものであると判明
 した。したがって、同じ強さの磁石を使うことにすれば、電
 磁力 F が磁界を横切る長さ l （磁石対の数）に比例すること
 をもっと単純明確に検証できる。

IV フェライト円形磁石を使った実験

アルニコ角磁石は高価（1,400 円）であるので、安価なフェラ
 イト円形磁石（80円）を使った実験を検討する。

<目的>

- (1) 磁石を等間隔で台に固定するやり方（図1）で、磁石対の
 数を変えることにより、電磁力 F が磁界を横切る電流の長さ
 l に比例することが示せるかを調べる。
- (2) 1対の磁石のすき間 r を変えることにより、電磁力 F が磁束
 密度 B に比例することが示せるかを調べる。
- (3) 向き合った1対の磁石の外側に次々と磁石を重ねるやり方
 で、電磁力 F が磁束密度 B に比例することが示せるかを調べ
 る。

<結果と考察>

- (1) 10回巻きコイルを使い、磁石を1対～4対まで増して実験
 した例が図5である。どの場合も電磁力 F が電流 I に比例す
 ることが精度よく検証できている。

使用した各磁石対の磁束密度を磁束計で測定した結果はど
 れも0.59 kGであった。電磁力の相対値をまとめたものが表
 4である。磁石対が多くなると電磁力の増加が少し大きめに
 なっている。この理由としては、フェライト円形磁石の直径
 が3 cmあり、15cmの台に配置する時の隣りの磁石との間隔が
 だんだんと狭くなるので、磁界の重なりを生じることが考え
 られる。エナメル線の長さをもう少し長くすれば解消できる
 はずである。

表3 磁石対と磁束密度、電磁力

磁 石	1 対	2 対	3 対	4 対
B	1	2.1	3.2	4.6
F	1	2.1	3.2	4.5

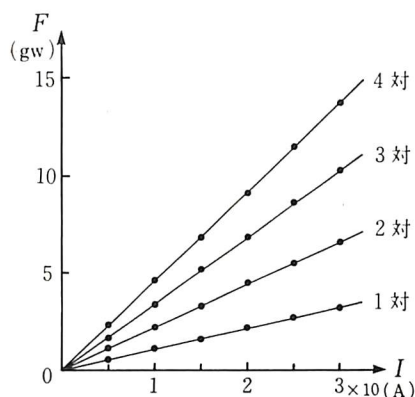


図5 電流と電磁力

表4 磁石対と磁束密度、電磁力

磁 石	1 対	2 対	3 対	4 対
B	1	2.0	3.0	4.0
F	1	2.0	3.1	4.2

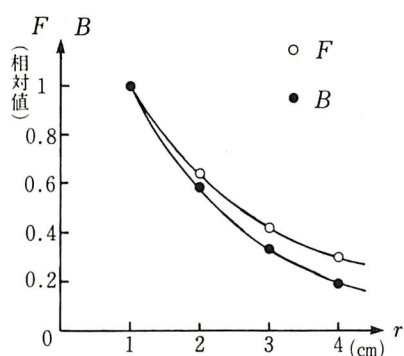


図6 すき間と磁束密度、電磁力

表5 すき間と磁束密度、電磁力

r	1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)
B	1	0.59	0.33	0.19
F	1	0.64	0.42	0.30

- (2) 10回巻きコイルに2 Aの電流を流し、1対の磁石のすき間 r を1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cmとして実験した例が図6, 表5 (相対値) である。磁束計で測定した磁束密度の減少の割合よりも、電磁力の減少の割合が小さいことがわかる。

この理由は、磁石対のすき間を広げた場合も磁束密度の測定は磁石間の真ん中の1点(図4)で行って比較しているのに対し、磁石のすき間が広がるほど電流を横切る磁界の範囲が広がるために電磁力の減少する割合が小さくなるものと考えられる。

- (3) 10回巻きコイルに2 Aの電流を流し、対の磁石間のすき間を1 cmにして、磁石を4枚まで重ねて実験した例が図7, 表6 (相対値) である。

電磁力 F が磁束密度 B に比例することが精度よく検証できている。また、磁束密度が重ねる磁石の枚数に比例すると好都合であるが、表6のように比例しないことがわかる。

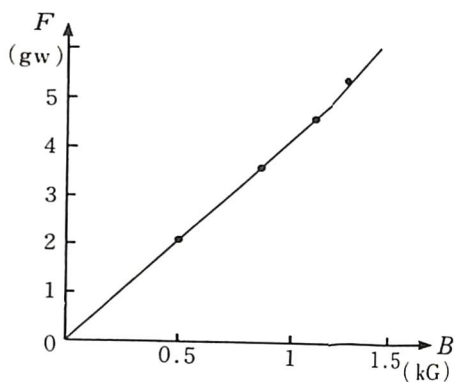


図7 磁束密度と電磁力

表6 磁石の枚数と磁束密度, 電磁力

磁石	1枚	2枚	3枚	4枚
B	1	1.7	2.2	2.5
F	1	1.7	2.2	2.6

V おわりに

この実験法を検討した結果、次のようなことが言える。

- ① 卓上精密はかりは操作が非常に簡単であり、秤量310 g, 感量0.01 gの性能があるので、アルニコ角磁石を8個載せても測定可能であり、有効数字2～4桁の測定値が得られること。
- ② フェライト円形磁石は80円と安価なうえに磁束密度のばらつきがほとんどなく、重ねることで磁束密度を増すことができるので、この実験には好都合であること。
- ③ フェライト円形磁石を使ったIVの(1), (3)の方法で、電磁力 F が電流 I , 磁界を横切る電流の長さ l , 磁束密度 B に比例することが精度よく検証できること。

ただし、重ねる磁石の枚数と磁束密度が比例しないので、磁束密度の測定が必要である。また、対にした磁石間の磁束密度 B が一様でないために、 $F = B I l$ の検証には不向きである。この検証には面積の大きな角型フェライト磁石の利用が考えられる。

ここで検討した実験はIで述べた①～④の問題点が解消でき、単純な場面設定と簡単な測定操作でできる方法であるから、生徒実験として十分に活用できるものと考ええる。

参考文献

- 1) 大久保政雄ほか：「電流と磁場の実験について」, 第63回全国理科教育センター研究協議会並びに研究発表会(物理部会)研究発表集録, (1976)
- 2) 野村益盛：「電流が磁界から受ける力の簡易定量実験」, 第89回全国理科教育センター研究協議会ならびに研究発表会(物理部会)研究発表集録, (1979)